

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS ✓
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## 発明の名称

蛍光性ガラス、光増幅用導波路、及び光増幅モジュール

## 発明の背景

## 発明の分野

- 5      【0001】 この発明は、蛍光性を有する蛍光性ガラス、少なくとも一部が該蛍光性ガラスからなる光増幅用導波路、及び、該蛍光性ガラス又は光増幅用導波路を含む光増幅モジュールに関するものである。

## 関連する背景技術

- 10      【0002】 光通信システム等において用いられる光増幅モジュールは、信号光が光伝送路を伝搬する間に被った損失を補償する光学部品であり、例えば光増幅媒体である光増幅用ファイバを含む光増幅モジュールの場合、該光増幅用ファイバに励起光が供給されることにより、該光増幅用ファイバにおいて信号光が増幅される。このとき用いられる光増幅用ファイバのコア領域は、石英ガラスに希土類元素イオンが添加された蛍光性ガラスからなる。

- 15      【0003】 例えば、Er元素イオンが添加された石英系の光増幅用ファイバ(EDF: Erbium Doped Fiber)を光増幅媒体として有する光増幅モジュール(EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier)は、 $0.98\mu\text{m}$ 波長帯又は $1.48\mu\text{m}$ 波長帯の励起光を用いて、Cバンド( $1530\text{nm}\sim 1565\text{nm}$ )又はLバンド( $1565\text{nm}\sim 1625\text{nm}$ )の信号光を増幅することができる。

- 20      【0004】 また、特開2000-159543号公報に開示された蛍光性ガラスは、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 及び $\text{B}_2\text{O}_3$ などを含み、さらに、 $\text{Ln}_x\text{O}_y$ （ただし、Lnは、Y、Ce、Pr、Nd、…などから選ばれる元素）をも含む。そして、該蛍光性ガラスは、励起光として紫外光が照射されることにより、可視域の蛍光を発生させることができる。

## 発明の概要

- 25      【0005】 発明者は上述の従来技術を検討した結果、以下のような課題を発

見した。

【0006】 すなわち、EDFは、Er元素イオンが高濃度に添加されると、濃度消光が発生する。また、EDFは、増幅可能な波長帯域の幅が十分に確保することができない。特に、このようなEDFは、1605nm以上の波長域では増幅が不可能であり、1525nm以下の波長域であっても増幅が実質的に不可能である。

【0007】 また、上記特開2000-159543号公報に開示された蛍光性ガラスは、可視域の蛍光を発生させるが、一般に光通信に用いられる信号波長帯域では透過率が低い。したがって、光増幅媒体として少なくとも一部がこの蛍光性ガラスからなる光増幅用ファイバが適用された場合であっても、該光増幅用ファイバは光通信用途には使用できない。

【0008】 この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、高濃度の希土類元素イオンの添加が可能であって光通信用途に適した蛍光性ガラス、光増幅用導波路、及び光増幅モジュールを提供することを目的としている。

【0009】 この発明に係る蛍光性ガラスは、15～50mol%の $Al_2O_3$ と；0～80mol%の $SiO_2$ と； $B_2O_3$ 、 $Ga_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $Sb_2O_3$ 、 $Nd_2O_5$ 、 $La_2O_3$ 及び $Yb_2O_3$ のうち少なくともいずれかを含む合計5～85mol%の酸化物と；そして、希土類元素イオンとを含有する。なお、個の発明に係る蛍光性ガラスは、 $SiO_2$ の含有濃度が0mol%である蛍光性ガラス、すなわち、 $SiO_2$ が含有されない蛍光性ガラスも含む。この発明に係る蛍光性ガラスは、従来の蛍光性ガラスと比較して、濃度消光が抑制されるので、高濃度の希土類元素イオンの添加が可能であり、一般に光通信において用いられる信号波長帯域に含まれる波長の蛍光を高効率に発生させることができる。

【0010】 この発明に係る蛍光性ガラスにおいて、上記酸化物は、5～85mol%の $B_2O_3$ を含んでもよい。また、この本発明に係る蛍光性ガラスにお

いて、上記酸化物は、該の $B_2O_3$ を除き、 $Ga_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $Sb_2O_3$ 、 $Nd_2O_5$ 、 $La_2O_3$ 及び $Yb_2O_3$ のうち少なくともいずれかを合計5～85mol%含んでもよい。なお、この発明に係る蛍光性ガラスに含有される希土類元素イオンは、重量比率2000wt. ppm以上のEr元素イオンを含むのが好ましい。

【0011】 この発明に係る光増幅用導波路は、信号光及び励起光が伝搬するコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備える。このコア領域の少なくとも一部は上記蛍光性ガラスから構成されており、励起光が供給されることによりこのコア領域内において信号光が増幅される。このように、この発明に係る光増幅用導波路は、光通信システムにおいて信号光を増幅する光増幅媒体として用いられ得る。

【0012】 この発明に係る光増幅用導波路において、上記コア領域は、上記蛍光性ガラスからなる内側コアと、該内側コアの外周に設けられた、石英系ガラスを主成分とする外側コアとを備えてもよい。このような構造を有する光増幅用導波路は、導波光のエネルギーが大きい内側コアは上記蛍光性ガラスから構成されているので、励起光供給により信号光が高効率に増幅し得る。このとき、外側コアは、 $Al_2O_3$ 、 $GeO_2$ 、 $P_2O_5$ 、Cl及びFのうち少なくともいずれかを含むのが好ましく、この場合、コア領域全体における屈折率プロファイル形成の自由度が増す。

【0013】 逆に、この発明に係る光増幅用導波路において、上記コア領域は、石英系ガラスを主成分とする内側コアと、該売り側コアの外周に設けられた、蛍光性ガラスからなる外側コアとを備えてもよい。このような構造を有する光増幅用導波路は、導波光のエネルギーが大きい内側コアで透明性が高くなることから、励起光及び信号光それぞれの損失を小さく抑えることができる。このとき、内側コアは、 $Al_2O_3$ 、 $GeO_2$ 、 $P_2O_5$ 、Cl及びFのうち少なくともいずれかを含むのが好ましく、この場合も、コア領域全体における屈折率プロファイル形成

の自由度が増す。

【0014】 この発明に係る光増幅用導波路において、コア領域の周囲に設けられたクラッド領域は、該コア領域より低い屈折率を有し、かつ、該クラッド領域の融点は1400℃以上であるのが好ましい。この場合、他の石英系光ファイバとの融着接続が容易となる。

【0015】 この発明に係る光増幅モジュールは、上記蛍光性ガラスからなる伝送媒体と、該伝送媒体に励起光を供給する励起光供給システムとを備えるのが好ましい。あるいは、この発明に係る光増幅モジュールは、上述のような構造を有する光増幅用導波路と、該光増幅用導波路に励起光を供給する励起光供給システムとを備えてもよい。これら光増幅モジュールは、光増幅媒体として用いられる蛍光性ガラス又は光増幅用導波路において濃度消光が効果的に抑制されるので、高濃度の希土類元素イオンの添加が可能であり、一般に光通信において用いられる信号波長帯域に含まれる光を高効率に光増幅することができる。

【0016】 なお、この発明に係る各実施例は、以下の詳細な説明及び添付図面によりさらに十分に理解可能となる。これら実施例は単に例示のために示されるものであって、この発明を限定するものと考えるべきではない。

【0017】 また、この発明のさらなる応用範囲は、以下の詳細な説明から明らかになる。しかしながら、詳細な説明及び特定の事例はこの発明の好適な実施例を示すものではあるが、例示のためにのみ示されているものであって、この発明の思想及び範囲における様々な変形及び改良はこの詳細な説明から当業者には自明であることは明らかである。

#### 図面の簡単な説明

【0018】 図1は、この発明に係る蛍光性ガラスのサンプルAの蛍光スペクトルである。

【0019】 図2は、この発明に係る蛍光性ガラスのサンプルBの蛍光スペクトルである。

【0020】 図3は、この発明に係る蛍光性ガラスのサンプルCの蛍光スペクトルである。

【0021】 図4は、この発明に係る光増幅用導波路の第1実施例の構成を示す斜視図である。

5 【0022】 図5は、この発明に係る光増幅用導波路の第2実施例の構成を示す斜視図である。

【0023】 図6A及び6Bは、この発明に係る光増幅用導波路の第3実施例の構成を示す断面図、及びその屈折率プロファイルである。

10 【0024】 図7A及び7Bは、この発明に係る光増幅用導波路の第4実施例の構成を示す断面図、及びその屈折率プロファイルである。

【0025】 図8A及び8Bは、この発明に係る光増幅用導波路の第5実施例の構成を示す断面図、及びその屈折率プロファイルである。

【0026】 図9は、この発明に係る光増幅モジュールの一実施例の構成を示す図である。

15 好適な実施例の詳細説明

【0027】 以下、この発明に係る蛍光性ガラス、光増幅用導波路、及び光増幅モジュールの各実施例を、図1～5、6A～8B、及び9を用いて詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

20 【0028】 (蛍光性ガラス)

【0029】 まず、この発明に係る蛍光性ガラスの実施例について説明する。当該実施例に係る蛍光性ガラスは、15～50mol%の $Al_2O_3$ と；0～80mol%の $SiO_2$ と； $B_2O_3$ 、 $Ga_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $Sb_2O_3$ 、 $Nd_2O_5$ 、 $La_2O_3$ 及び $Yb_2O_3$ のうち少なくともいずれかを含む合計5～85mol%の酸化物と；そして、希土類元素イオンとを含有する。 $SiO_2$ 含有量は、多すぎると結晶化が引き起こされるため、ガラス化が非常に困難になる。

そのため、該 $\text{SiO}_2$ 含有量は、 $80\text{mol}\%$ 以下が好ましく、より適した範囲として $50\text{mol}\%$ 以下が好ましい。なお、該 $\text{SiO}_2$ 含有量が $0\text{mol}\%$ であっても、ガラス化は可能である。

【0030】 当該蛍光性ガラスにおける $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含有濃度は、 $15\text{mol}\%$ 以上であることが必要であるが、好ましくは $18\text{mol}\%$ 以上、より好ましくは $20\text{mol}\%$ 以上である。一方、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含有濃度が大きすぎるとガラス化が困難になるので、該 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含有濃度は $50\text{mol}\%$ 以下であることが必要である。

【0031】 当該蛍光性ガラスには上記酸化物として $\text{B}_2\text{O}_3$ が含まれていてもよく、この場合、該 $\text{B}_2\text{O}_3$ 含有濃度は、 $5\text{mol}\%$ 以上であるのがよく、より好ましくは $10\text{mol}\%$ 以上、さらに好ましくは $15\text{mol}\%$ 以上である。一方、該 $\text{B}_2\text{O}_3$ 含有濃度が大きすぎると、蛍光性ガラスの融点が低くなり、蛍光性ガラスの屈折率が低くなるので、該 $\text{B}_2\text{O}_3$ 含有濃度は、 $85\text{mol}\%$ 以下であるのがよく、より好ましくは $75\text{mol}\%$ 以下である。

【0032】 また、当該蛍光性ガラスに含有される酸化物としては、上記 $\text{B}_2\text{O}_3$ を除いて、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Sb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nd}_2\text{O}_5$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 及び $\text{Yb}_2\text{O}_3$ のうち少なくともいずれかが合計 $5\sim 85\text{mol}\%$ 含まれるのがよく、好ましくは $8\sim 80\text{mol}\%$ 、より好ましくは $10\sim 80\text{mol}\%$ である。特に、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 及び $\text{Ta}_2\text{O}_5$ の少なくとも一方が当該蛍光性ガラス内に含まれていると、蛍光波長域の広帯域化に効果的である。また、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ が当該蛍光性ガラス内に含まれていると、該蛍光性ガラスの機械的強度が効果的に向上する。

【0033】 さらに、当該蛍光性ガラスに含有される希土類元素イオンは、Pr、Nd、Tm、Dy、Erなどのイオンであるのが好ましい。特に、該希土類元素イオンがEr元素イオンである場合、一般に光通信に用いられる波長 $1500\text{nm}\sim 1600\text{nm}$ 帯の信号光を増幅する上で好ましい。

【0034】 この発明に係る蛍光性ガラスは、従来の蛍光性ガラスと比較して、

Er 元素イオンのクラスタリングが生じ難く、濃度消光が抑制されるので、高濃度の希土類元素イオンの添加が可能であり、一般に光通信において用いられる信号波長帯域に含まれる波長の蛍光を高効率に発生させることができる。蛍光性ガラスに含有される希土類元素イオンの含有濃度は、重量比率2000wt. ppm以上であるのがよく、より好ましくは2500wt. ppm以上である。

【0035】 特に、波長1600nm以上の信号光を増幅する光増幅媒体として当該蛍光性ガラスが用いられる場合、この蛍光性ガラス（又は、この蛍光性ガラスからなる光増幅用導波路）は、単位長さ当たりのErイオン含有濃度を大きくする（例えば3000wt. ppm以上とする）ことで、必要な光増幅利得を得るのに必要な長さを短くすることができる。そのため、当該蛍光性ガラスからなる光増幅用導波路（例えば光増幅用ファイバ）は、収納性に優れ、非線形光学現象の発生を効果的に抑制することが可能になる。

【0036】 次に、この発明に係る蛍光性ガラスとして用意された複数のサンプルA～Cを、比較例であるサンプルDとともに説明する。サンプルAの蛍光性ガラスは、16mol%の $Y_2O_3$ 、25.6mol%の $Al_2O_3$ 、38.1mol%の $SiO_2$ 、20mol%の $B_2O_3$ 、及び、0.6mol%の $Er^{3+}$ イオンを含有する。サンプルBの蛍光性ガラスは、14mol%の $Y_2O_3$ 、22.4mol%の $Al_2O_3$ 、33.3mol%の $SiO_2$ 、15mol%の $Ga_2O_3$ 、15mol%の $Ta_2O_5$ 、及び、0.6mol%の $Er^{3+}$ イオンを含有する。サンプルCの蛍光性ガラスは、15mol%の $Y_2O_3$ 、25mol%の $Al_2O_3$ 、59.7mol%の $B_2O_3$ 、及び、0.6mol%の $Er^{3+}$ イオンを含有する。また、比較例であるサンプルDは、25mol%の $Y_2O_3$ 、15mol%の $Al_2O_3$ 、59.7mol%の $B_2O_3$ 、及び、0.6mol%の $Er^{3+}$ イオンを含有する。これらサンプルA～Dそれぞれは、熔融法により作成された。

【0037】 上記サンプルA～Dのうち、サンプルA～Cそれぞれはガラス化することができたものの、比較例であるサンプルDはガラス化することができな



かった。サンプルA～Cの蛍光性ガラスそれぞれに、Er元素イオンを励起し得る波長980nmの励起光を照射し、波長間隔1nmで蛍光強度が測定された。図1は、サンプルAの蛍光性ガラスの蛍光スペクトルである。図2は、サンプルBの蛍光性ガラスの蛍光スペクトルである。また、図3は、サンプルCの蛍光性ガラスの蛍光スペクトルである。これら図1～図3において、縦軸は、ピーク値で規格化された蛍光強度である。これら図1～図3から分かるように、サンプルA～Cの蛍光性ガラスそれぞれは、Cバンドを含む広い波長帯域で蛍光を発生し得る。

【0038】 (光増幅用導波路)

【0039】 次に、この発明に係る光増幅用導波路の実施例について説明する。この発明に係る光増幅用導波路は、コア領域の少なくとも一部が上述のような構造を有する蛍光性ガラスからなる。そして、この光増幅用導波路は、励起光及び信号光を導波し得るコア領域内において、該励起光が供給されることにより該信号光を増幅し得る。蛍光性ガラスが光増幅媒体として適用された場合、蛍光性ガラスはバルクとして使用されてもよいが、光導波路の形態で使用されることで当該光増幅用導波路の小型化・高効率化が可能になる。なお、光導波路の形態としては、平面光導波路型構造、リッジ型構造及び光ファイバ型構造のいずれの形態であってもよい。

【0040】 図4は、この発明に係る光増幅用導波路の第1実施例の構造を示す斜視図である。この図4に示された第1実施例に係る光増幅用導波路10は、平面光導波路構造を有し、基板13と、該基板13の上に形成されたクラッド領域12と、そして、該クラッド領域12内に埋設されたコア領域11とを備える。コア領域11は、その長手方向に沿って一定した矩形の断面形状を有し、クラッド領域12より高い屈折率を有する。そして、このコア領域11の少なくとも一部は、上述のような構造を有する蛍光性ガラスから構成されている。

【0041】 図5は、この発明に係る光増幅用導波路の第2実施例の構造を示

す斜視図である。この図 5 に示された第 2 実施例に係る光増幅用導波路 20 は、リッジ型構造を有し、基板 23 と、そして、該基板 23 上に形成された薄膜 22 とを備える。また、該薄膜の厚みが厚くなった部分がコア領域 21 と機能する。コア領域 21 は、その長手方向に沿って一定した断面形状を有し、基板 23 より高い屈折率を有する。そして、このコア領域 21 の少なくとも一部は、上述のような構造を有する蛍光性ガラスから構成されている。

【0042】 図 6 A 及び 6 B は、この発明に係る光増幅用導波路の第 3 実施例の構造を示す断面図、及びその屈折率プロファイルである。図 6 A は、光軸に垂直な断面を示し、図 6 B は、図 6 A の断面上における径方向に沿った各部位の屈折率を示す。この図 6 A に示された第 3 実施例に係る光増幅用導波路 30 は、光ファイバ形態を有し、光軸に沿って伸びたコア領域 31 と、そして、該コア領域の該主に設けられたクラッド領域 32 とを備える。コア領域 31 は、その長手方向に沿って一定した円形の断面形状を有し、図 6 B の屈折率プロファイル 35 に示されたようにクラッド領域 32 より高い屈折率を有する。そして、このコア領域 31 の少なくとも一部は、上述のような構造の蛍光性ガラスから構成されている。

【0043】 図 7 A 及び 7 B は、この発明に係る光増幅用導波路の第 4 実施例の構造を示す断面図、及びその屈折率プロファイルである。図 7 A は、光軸に垂直な断面を示し、図 7 B は、図 7 A の断面上における径方向に沿った各部位の屈折率を示す。この図 7 A に示された第 4 実施例に係る光増幅用導波路 40 は、光ファイバ形態を有し、内側コア 41 a と、該内側コア 41 a の外周に設けられた外側コア 41 b と、そして、該外側コア 41 b の外周に設けられたクラッド領域 42 とを備える。内側コア 41 a は、その長手方向に沿って一定した円形の断面形状を有し、図 7 B の屈折率プロファイル 45 に示されたようにクラッド領域 42 より高い屈折率を有し、少なくとも一部が上述のような構造の蛍光性ガラスから構成されている。外側コア 41 b も、その長手方向に沿って一定した円形の断

面形状を有し、図7Bの屈折率プロファイル45に示されたようにクラッド領域42より高い屈折率を有する。なお、この外側コア41bは、石英系ガラスを主成分とするが、 $Al_2O_3$ 、 $GeO_2$ 、 $P_2O_5$ 、Cl及びFのうち少なくともいずれかを含むのが好ましい。また、この第4実施例の屈折率プロファイル45では、

5 内側コア41aの屈折率の方が外側コア41bの屈折率よりも高くなるよう設定されているが、これら内側コア41a及び外側コア41bにおける屈折率の高低は任意である。

【0044】 図8は、この発明に係る光増幅用導波路の第5実施例の構成を示す断面図、及びその屈折率プロファイルである。図8Aは、光軸に垂直な断面を示し、図8Bは、図8Aの断面上における径方向に沿った殻部位の屈折率を示す。この図8Aに示された第5実施例に係る光増幅用導波路50は、光ファイバ形態を有し、内側コア51aと、該内側コア51aの外周に設けられた外側コア51bと、そして、該外側コア51bの外周に設けられたクラッド領域52とを備える。内側コア51aは、その長手方向に沿って一定した円形の断面形状を有し、

10 図8Bに示された屈折率プロファイル55に示されたようにクラッド領域52より高い屈折率を有する。また、この内側コア51aは、石英系ガラスを主成分とし、 $Al_2O_3$ 、 $GeO_2$ 、 $P_2O_5$ 、Cl及びFのうち少なくともいずれかを含むのが好ましい。外側コア51bも、その長手方向に沿って一定した円形の断面形状を有し、図8Bの屈折率プロファイル55に示されたようにクラッド領域5

15 2より高い屈折率を有する。この外側コア51bの少なくとも一部は上述の構造を有する蛍光性ガラスから構成されている。なお、上述の第4実施例と同様に、内側コア51a及び外側コア51bにおける屈折率の高低は任意である。

【0045】 この発明に係る光増幅用導波路において、クラッド領域は、コア領域より低い屈折率を有することが必要であり、透明度が高いことが好ましい。

25 クラッド領域は、石英系ガラスを主成分としてもよく、また、他の酸化物ガラスを主成分としてもよい。さらに、該クラッド領域は、ガラスではなく他の材料で

あってもよく、例えば透明な樹脂であってもよい。また、クラッド領域の融点は1400℃以上であるのが好ましく、この場合、この発明に係る光増幅用導波路と他の光導波路との融着接続が容易になる。

【0046】 また、クラッド領域（特に、コア領域に近い部分）には、その長手方向に延びる径が数百nm程度の多数の空孔が設けられているのが好ましい。この構成は、コア領域への導波光の閉じ込めの効果が大きいため、光増幅効率が大きくすることができ、したがって、導波路長を短くすることができる。あるいは、この構成は、多（2以上）モード伝搬が可能な導波路構造の場合でも、光増幅用導波路内でのモード変換を抑制することで、実質的にシングルモード伝搬することを可能にする。

【0047】 光増幅用導波路において、励起光を供給することにより引き起こされる信号光の増幅動作を安定させるためには、当該光増幅用導波路の使用状況下においてカットオフ波長が励起光波長より短いこと、すなわち、該使用状況下において励起光及び信号光が実質的にシングルモード伝搬することが好ましい。多モード伝搬が可能な導波路構造の場合でも、光増幅用導波路内でのモード変換を抑制することで、実質的にシングルモード伝搬することが可能になる。この場合、光増幅用導波路がいわゆるマルチモードファイバ構造又はバルクガラス状態であっても、長さ10m以下であって数mm程度であれば、当該光増幅用導波路の使用状況下においてこれらの条件を満たすことが可能である。

【0048】 希土類元素イオンとしてEr元素イオンが添加された蛍光性ガラス又は光増幅用導波路では、そのEr元素イオンを励起し得る励起光の波長帯域は0.98μm波長帯又は1.48μm波長帯である。特に、この発明に係る蛍光性ガラスでは、従来のEr元素イオン添加石英系ガラスと比較して、1.48μm波長帯における励起光吸収が大きいことから、より励起効率を高めるには、1.48μm波長帯より短い1.46μm波長帯の励起光を利用することも有効である。

【0049】 この発明に係る蛍光性ガラス又は光増幅用導波路において、その光入出射端には他の光導波路（例えば石英系光ファイバ）が光学的に結合されることが好ましい。当該蛍光性ガラスが、比較的高い融点を有し、かつ平面光導波路又は光ファイバの形態を有している場合、他の光導波路と融着接続することも可能である。このような形態であれば、当該蛍光性ガラス又は光増幅用導波路は、一般に光通信に用いられる光伝送路の前段、途中、及び後段のいずれにも容易に配置され、信号光増幅が可能になる。

【0050】 この発明に係る蛍光性ガラス又は光増幅用導波路は、Sバンド（1460nm～1530nm）においても蛍光強度が大きいので、この波長帯域の信号光をも増幅することができる。もちろん、当該蛍光性ガラスは、Cバンド又はLバンドの信号光増幅も可能である。したがって、当該蛍光性ガラス又は光増幅用導波路は、S、C及びLの3つのバンドに亘って複数チャネルの信号光（複数チャネルが多重化されたWDM信号光）を一括増幅することができ、例えば、信号チャネル間隔が広いCWDM（Course Wavelength Division Multiplexing）光通信においても好適に利用され得る。

【0051】 次に、この発明に係る光増幅用導波路のうち特に光ファイバ形態を有する光増幅用導波路の具体例について説明する。

【0052】 具体例1に係る光増幅用導波路aは、図6A及び6Bに示された光ファイバ30と同様の構造を有し、そのコア領域31が上記サンプルAの蛍光性ガラスにより構成されている。具体的には、サンプルAの蛍光性ガラスからなる円柱形状の母材を用意し、この母材を熔融線引することで、外径50 $\mu$ mのガラスファイバを得る。そして、このサンプルAの蛍光性ガラスからなるガラスファイバの周囲に、該サンプルAの蛍光性ガラスより低い屈折率の紫外線硬化樹脂を塗布、硬化して、外径250 $\mu$ mの樹脂層を形成する。この具体例1の光増幅用導波路aでは、サンプルAの蛍光性ガラスからなるガラスファイバがコア領域31に相当し、その周囲の樹脂がクラッド領域32に相当する。

【0053】 具体例1に係る光増幅用導波路bは、図7A及び7Bに示された光ファイバ40と同様の構造を有し、その内側コア41aが上述のサンプルBの蛍光性ガラスBにより構成されている。具体的に、当該光増幅用導波路bは、サンプルBの蛍光性ガラスからなる内側コア41aと、12mol%の $Al_2O_3$ を含む石英系ガラスからなる外側コア41bと、純石英ガラスからなる外径125 $\mu m$ のクラッド領域42と、該クラッド領域42の外周に保護層として形成された外径240 $\mu m$ の樹脂被覆層とを備える。

【0054】 具体例3に係る光増幅用導波路cは、図8A及び8Bに示された光ファイバ50と同様の構造を有し、その外側コア51bが上述のサンプルCの蛍光性ガラスCにより構成されている。具体的に、当該光増幅用導波路cは、5mol%の $P_2O_5$ 及び1mol%のFを含む石英系ガラスからなる内側コア51aと、サンプルCの蛍光性ガラスからなる外側コア51bと、F添加石英ガラスからなる外径125 $\mu m$ のクラッド領域52と、該クラッド領域52の外周に保護層として形成された外径260 $\mu m$ の樹脂被覆層とを備える。

【0055】 上述のような構造を備えた具体例～3に係る光増幅用導波路a～cは、いずれも、0.98 $\mu m$ 波長帯又は1.46 $\mu m$ 波長帯の励起光が供給されることにより、S、C及びLの3つのバンドに亘って複数チャネルの信号光を一括増幅することができる。

【0056】 なお、図6B、図7B及び図8Bそれぞれに示された屈折率プロファイル35、45、55は、ステップ状の屈折率プロファイルとして模式的に描かれているが、実際には、製造時の添加物の熱拡散に起因してガラス領域間の境界近傍において連続的に屈折率に変化する場合もある。

【0057】 一般に光通信に使用される光ファイバとの光結合を考慮すると、この発明に係る光増幅用導波路（特に光ファイバ形態を有する光増幅用導波路）において、クラッド領域は、100～150 $\mu m$ 又は80～90 $\mu m$ の外径を有するのが好ましい。また、該クラッド領域の外周に設けられる樹脂層は、220

～270 $\mu$ mの外径を有するのが好ましい。

【0058】 (光増幅モジュール)

【0059】 次に、この発明に係る光増幅モジュールの実施例について説明する。

5 【0060】 図9は、この発明に係る光増幅モジュールの一実施例の構成を示す図であり、当該光増幅モジュール1は、上述のような構造を有する蛍光性ガラスからなる光増幅用ファイバ（光増幅用導波路）を含む。すなわち、図9に示された光増幅モジュール1は、光入力端101を介して入力された信号光を増幅し、  
10 該増幅された信号光を光出力端102を介して当該モジュール1の外部へ出力する。具体的に、当該光増幅モジュール1は、光入力端101から光出力端102へ向かう信号光伝搬経路上に順に配置された、光カップラ111、光アイソレータ121、光カップラ112、光増幅用ファイバ131、利得等化器140、光増幅用ファイバ132、光カップラ113、光アイソレータ122及び光カップラ114を備える。また、当該光増幅モジュール1は、光カップラ111に接続されたフォトダイオード151、光カップラ112に接続されたレーザダイオード162、光  
15 カップラ113に接続されたレーザダイオード163、及び、光カップラ114に接続されたフォトダイオード154を備える。

20 【0061】 光増幅用ファイバ131、132それぞれは、そのコア領域の少なくとも一部が上述のような構造を有する蛍光性ガラス（この発明に係る蛍光性ガラス）により構成されており、該コア領域内を励起光及び信号光を導波させるとともに、該励起光が供給されることにより信号光を増幅し得る。また、光増幅用ファイバ131、132におけるコア領域の少なくとも一部を構成する蛍光性ガラスの組成は互いに異なるのが好ましく、これら光増幅用ファイバ131、132は信号光伝搬経路上に光学的に縦続接続されている。光アイソレータ121、  
25 122それぞれは、光入力端101から光出力端102へ向かう順方向に光を通過させる一方、逆方向には光を通過させない。光カップラ112及びレーザダイオ

ード162は、光増幅用ファイバ131に励起光を供給する励起光供給システムの一部を構成している。光カップラ113及びレーザダイオード163は、光増幅用ファイバ132に励起光を供給する励起光供給システムの一部を構成している。利得等化器140は、光増幅用ファイバ131、132の利得帯域において、これら光増幅用ファイバ131、132の利得スペクトルと略同形状の損失スペクトルを有しており、光増幅用ファイバ131、132の各利得を等化するよう機能する。

【0062】 当該光増幅モジュール1において、励起光源であるレーザダイオード162から出力された励起光は、光カップラ112を経て光増幅用ファイバ131へ順方向に供給される（前方励起）。また、励起光源であるレーザダイオード163から出力された励起光は、光カップラ113を経て光増幅用ファイバ132へ逆方向に供給される（後方励起）。光入力端101を介して入力された信号光は、光カップラ111、光アイソレータ121及び光カップラ112を経て光増幅用ファイバ131に到達し、この光増幅用ファイバ131内において増幅される。光増幅用ファイバ131において増幅された信号光は、利得等化器140により該信号光に含まれる波長成分ごとに損失を被った後、光増幅用ファイバ132に到達する。そして、この利得等化器140を通過した信号光は、この光増幅用ファイバ132において増幅される。光増幅用ファイバ132において増幅された信号光は、さらに、光カップラ113、光アイソレータ122及び光カップラ114を経て光出力端102を介して当該光増幅モジュール1の外部へ出力される。一方、光入力端101を介して入力された信号光の一部は、光カップラ111により分岐され、そのパワーがフォトダイオード151によりモニタされる。同様に、光アイソレータ122を通過して光出力端102へ向かう信号光の一部も、光カップラ114により分岐され、そのパワーがフォトダイオード154によりモニタされる。

【0063】 当該光増幅モジュール1全体の利得スペクトルは、光増幅用ファ



イバ131の利得スペクトル、光増幅用ファイバ132の利得スペクトル、及び、利得等化器140の損失スペクトルが総合されたスペクトルである。光増幅用ファイバ131、132におけるコア領域の少なくとも一部を構成する蛍光性ガラスが互いに異なる組成を有するため、光増幅用ファイバ131、132それぞれの利得帯域が異なるから、当該光増幅モジュール1は、全体として広帯域に亘って利得を有することができる。また、光増幅用ファイバ131、132それぞれは、上述のような構造を有する第3～第5実施例に係る光増幅用導波路（光ファイバ形態）を有する光増幅用導波路のいずれかと同様の構造を有するので、この点でも広帯域に亘って所望の利得を有することができる。

【0064】 なお、図9に示された光増幅モジュール1では、光ファイバ形態の光増幅用導波路（第3～第5実施例に係る光増幅用導波路）が光増幅媒体として使用されているが、この発明に係る蛍光性ガラスが光増幅媒体として使用されてもよい。また、木の葉素名に係る蛍光性ガラス又は光増幅用導波路が適用された図9の光増幅モジュール1（この発明に係る光増幅モジュール）は、信号光を増幅する光増幅器であったが、この発明に係る蛍光性ガラス又は光増幅用導波路は、レーザ発振装置においても光増幅媒体として好適に適用可能である。

【0065】 以上のように、この発明に係る蛍光性ガラスは、15～50mol%の $\text{Al}_2\text{O}_3$ と；0～80mol%の $\text{SiO}_2$ と； $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Sb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nd}_2\text{O}_5$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 及び $\text{Yb}_2\text{O}_3$ のうち少なくともいずれかを含む合計5～85mol%の酸化物と；そして、希土類元素イオンとを含有している。この構成により、当該蛍光性ガラスは、従来の蛍光性ガラスと比較して、濃度消光が抑制されるので、高濃度の希土類元素イオンの添加が可能であり、一般に光通信において用いられる信号波長帯域に含まれる波長の蛍光を高効率に発生させることができる。

【0066】 以上の本発明の説明から、本発明を様々に変形しうることは明らかである。そのような変形は、本発明の思想及び範囲から逸脱するものとは認め

ることはできず、すべての当業者にとって自明である改良は、以下の請求の範囲に含まれるものである。

クレーム：

1. 15～50mol%の $Al_2O_3$ と、  
0～80mol%の $SiO_2$ と、  
5  $B_2O_3$ 、 $Ga_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $Sb_2O_3$ 、 $Nd_2O_5$ 、 $La_2O_3$ 及  
び $Yb_2O_3$ のうち少なくともいずれかを含む合計5～85mol%の酸化物と、  
そして、  
希土類元素イオンとを含有する蛍光性ガラス。
2. クレーム1記載の蛍光性ガラスにおいて、  
10 前記酸化物は、5～85mol%の $B_2O_3$ を含有する。
3. クレーム1記載の蛍光性ガラスにおいて、  
前記酸化物は、前記 $B_2O_3$ を除き、 $Ga_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $Sb_2O_3$ 、  
 $Nd_2O_5$ 、 $La_2O_3$ 及び $Yb_2O_3$ のうち少なくともいずれかを合計5～85m  
15 ol%含む。
4. クレーム1記載の蛍光性ガラスにおいて、  
前記希土類元素イオンは、重量比率2000wt. ppm以上のEr元素イオ  
ンを含む。
5. 励起光が供給されることにより信号光を増幅する光増幅用導波路であっ  
て、  
20 所定軸に沿って伸び、前記信号光及び励起光が伝搬するコア領域であって、少  
なくとも一部がクレーム1記載の蛍光性ガラスからなるコア領域と、そして、  
前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えた光増幅用導波路。
6. クレーム5記載の光増幅用導波路において、  
前記コア領域は、前記蛍光性ガラスからなる内側コアと、該内側コアの外周に  
25 設けられた、石英系ガラスを主成分とする外側コアとを備える。
7. クレーム6記載の光増幅用導波路において、

前記外側コアは、 $Al_2O_3$ 、 $GeO_2$ 、 $P_2O_5$ 、Cl及びFのうち少なくともいずれかを含む。

8. クレーム5記載の光増幅用導波路において、

5 前記コア領域は、石英系ガラスを主成分とする内側コアと、該内側コアの外周に設けられた、前記蛍光性ガラスからなる外側コアとを備える。

9. クレーム8記載の光増幅用導波路において、

前記内側コアは、 $Al_2O_3$ 、 $GeO_2$ 、 $P_2O_5$ 、Cl及びFのうち少なくともいずれかを含む、ことを特徴とする請求項8記載の光増幅用導波路。

10. クレーム5記載の光増幅用導波路において、

10 前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域は、前記コア領域より低い屈折率を有するとともに、該クラッド領域の融点は $1400^{\circ}C$ 以上である。

11. 少なくとも一部がクレーム1記載の蛍光性ガラスからなる光伝送媒体と、そして、

15 前記光伝送媒体に励起光を供給する励起光供給システムを備えた光増幅モジュール。

12. クレーム5記載の光増幅用導波路と、そして、

前記光増幅用導波路に励起光を供給する励起光供給システムを備えた光増幅モジュール。

開示内容の要約

この発明は、高濃度の希土類元素イオンの添加が可能で光通信用途に適した蛍光性ガラス、及びそれを含む光学部品に関する。当該蛍光性ガラスは、15～50mol%の $Al_2O_3$ と、0～80mol%の $SiO_2$ と、 $B_2O_3$ 、 $Ga_2O_3$ 、  
5  $Y_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $Sb_2O_3$ 、 $Nd_2O_5$ 、 $La_2O_3$ 及び $Yb_2O_3$ のうち少なくともいずれかを含む合計5～85mol%の酸化物と、希土類元素イオンとを含有する。この蛍光性ガラスは、従来の蛍光性ガラスと比較して、濃度消光が抑制されるので、高濃度の希土類元素イオンの添加が可能であり、一般に光通信において用いられる信号波長帯域に含まれる波長の蛍光を高効率に発生させる